ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Λογική και λ-Λογισμός

5.1. Γενικά

Σ' αυτό το κεφάλαιο επιχειρούμε την εξοικείωση με τον λ-Λογισμό που βασίζεται στον κατηγορικό λογισμό και τις γραμματικές φραστικής δομής.

5.2. Μεταφράζοντας φυσική γλώσσα σε λ-λογισμό.

Στο Κεφάλαιο 2 είπαμε ότι είναι δυνατόν να προσεγγίσουμε την σημασία των εκφράσεων της φυσικής γλώσσας χρησιμοποιώντας σημασιολογικές θεωρίες που στηρίζονται στην έννοια του *μοντέλου*. Επιπλέον είπαμε πως αν και είναι δυνατόν να υπολογίσουμε την σημασία των φυσικών εκφράσεων κατευθείαν, εντούτοις, για να εξασφαλίσουμε την ικανότητα να συνάγουμε ορθά συμπεράσματα από ορθά δεδομένα, χρησιμοποιούμε μια πιο έμμεση διαδικασία: πρώτα απεικονίζουμε ("αναπαριστούμε") την σημασία των εκφράσεων της φυσικής γλώσσας σε εκφράσεις μιας τεχνητής γλώσσας με καλές μαθηματικές ιδιότητες και στη συνέχεια "υπολογίζουμε" την σημασία των αναπαραστάσεων. Συνήθως, χρησιμοποιούμε τον *κατηγορικό λογισμό πρώτης τάξης* ως γλώσσα των αναπαραστάσεων. Επιπλέον, χρησιμοποιούμε την σύνταξη του *λ-λογισμού* για να γράψουμε τις εκφράσεις του κατηγορικού λογισμού. Αυτό γιατί ο λ-λογισμός μας επιτρέπει να εκφράσουμε την *αναδρομικότητα* και την *συνδυασιμότητα* της γλώσσας.

Δεν θα κάνουμε διεξοδική περιγραφή της διαδικασίας αναπαράστασης της σημασίας των εκφράσεων της φυσικής γλώσσας με λ-λογισμό γιατί στόχος μας εδώ δεν είναι να υπεισέλθουμε σε βάθος στα προβλήματα της σημασιολογίας της φυσικής γλώσσας αλλά να χρησιμοποιήσουμε την φυσική γλώσσα απεικονισμένη σε Prolog για να ανακτήσουμε πληροφορία από Βάσεις Δεδομένων. Για να πετύχουμε αυτόν τον στόχο θα χρησιμοποιήσουμε ιδέες από τον λ-λογισμό και την τυπική σημασιολογική ανάλυση της γλώσσας και κυρίως την θεωρία των *ποσοδεικτών*.

Αρχίζουμε την αναφορά στον χώρο της τυπικής σημασιολογίας της γλώσσας με τον Πίνακα 5.1 όπου δίνουμε τους λογικούς συνδέσμους και παραδείγματα του πώς τους χρησιμοποιούμε για να πάρουμε σύμπλοκες εκφράσεις σε μια τυπική γλώσσα. Τα σύμβολα P,Q δηλώνουν ορθώς σχηματισμένες formulae (well formed formulae) στον κατηγορικό λογισμό. Στην συνέχεια παραθέτουμε μια μικρή εισαγωγή στον λ-λογισμό και την εφαρμογή του στην *αναπαράσταση της σημασίας* της φυσικής γλώσσας. Ακολουθεί μια επίσης μικρή εισαγωγή στην θεωρία των ποσοδεικτών της φυσικής γλώσσας. Και τέλος, συνδυάζουμε αυτές τις ιδέες με Γραμματικές Ορισμένης Φράσης έτσι ώστε να απευθύνουμε ερωτήσεις -- διατυπωμένες σε φυσική γλώσσα -- σε Βάσεις Δεδομένων.

5.2.1. Λίγα λόγια για τον λ-λογισμό

Ο **λ-λογισμός** μας επιτρέπει να εκφράσουμε την αναδρομικότητα και την συνδυασιμότητα της γλώσσας. Αυτό οφείλεται στην ευελιξία που προσφέρει ο **λ-τελεστής**. Μπορούμε να δούμε τον λ-τελεστή σαν έναν συστηματικό τρόπο να ορίζουμε και να συνδυάζουμε ιδιότητες (properties). Δεχόμαστε τον πιο κάτω ορισμό ο οποίος ταυτοχρόνως δίνει και τον συντακτικό ορισμό ενός πολύ χρήσιμου εργαλείου, της ***λ-αφαίρεσης***.

Πίνακας 5.1: Οι λογικοί σύνδεσμοι

Σύμβολο	**Διαβάζεται...**	**Παράδειγμα**	**Σημασία**
$\neg$	όχι	$\neg$ P	η P δεν είναι αληθής
$\wedge$	και	P $\wedge$ Q	και η P και η Q είναι αληθής
$\vee$	είτε	P $\vee$ Q	η P είναι αληθής είτε η Q είναι αληθής
$\rightarrow$	συνεπάγεται	P $\rightarrow$ Q	η P δεν είναι αληθής είτε η Q είναι αληθής
$\forall$	για κάθε	($\forall$ x)P	η P είναι αληθής για όλες τις τιμές του x
$\exists$	υπάρχει τουλάχιστον ένα	($\exists$ x)P	Υπάρχει μία τιμή τουλάχιστον του x για την οποία η P είναι αληθής `````

Η **λ-αφαίρεση** (λ-abstraction) μπορεί να θεωρηθεί ως το σημαντικότερο εργαλείο για να ορίσουμε ιδιότητες.

ΟΡΙΣΜΟΣ

Εάν P είναι ορθά σχηματισμένος τύπος (του κατηγορικού λογισμού πρώτης τάξης), τότε λχ[ψ] είναι ένα μονοδύναμο κατηγόρημα.

Παραδείγματα:

Παράδειγμα 1ο. Θεωρείστε την συνάρτηση

(1) $\varphi(\chi) = \chi+2$

‘Ομως, ο τύπος (1) δεν είναι ο ορισμός της συνάρτησης φ αλλά της τιμής $\varphi(\chi)$. Χρησιμοποιούμε την λ-αφαίρεση για να ορίσουμε την φ.

(2) $\varphi=\lambda\chi[\chi+2]$

Παράδειγμα 2ο. Θεωρείστε την ακόλουθη έκφραση.

(3) *συλλέκτης(Γιάννης).*

Ένας τρόπος να δούμε την (3) είναι να πούμε ότι υπάρχει η ιδιότητα του *“είσθαι συλλέκτης”* και να θεωρήσουμε ότι ο Γιάννης είναι ένας από αυτούς που έχουν αυτήν την ιδιότητα. Γράφουμε

(4) *λχ[συλλέκτης(χ)](Γιάννης).*

<u>Σημείωση</u>: Στον Πίνακα 5.2 θα βρείτε περισσότερα παραδείγματα για το πώς ορίζουμε ιδιότητες από εκφράσεις της φυσικής γλώσσας.
Τα ωφέλη από την χρήση της λ-αφαίρεσης φαίνονται αμέσως. Τώρα μπορούμε να κατασκευάσουμε σύνθετες ιδιότητες όπως αυτή του Παραδείγματος 3.

Παράδειγμα 3ο. Τί είναι ένας εργένης; Ένας ενήλιξ αρσενικός που δεν έχει παντρευτεί. Δηλαδή:

(5) *λχ[ενήλιξ(χ) ∧ αρσενικός(χ) ∧ ¬(παντρεμένος(χ))]*

(5’) *ενήλιξ(χ) ∧ αρσενικός(ψ) ∧ ¬(παντρεμένος(ζ) ∧ χ=ψ=ζ*

(6) *λχ[ενήλιξ(χ) ∧ αρσενικός(χ) ∧ ¬(παντρεμένος(χ)](λέων)*

(6’) *ενήλιξ(λέων) ∧ αρσενικός(λέων) ∧ ¬(παντρεμένος(λέων)*

Η έκφραση (5) περιγράφει την ιδιότητα του “*είσθαι εργένης*”. Το κέρδος από την χρήση του λ-λογισμού είναι ότι η μεταβλητή *χ* είναι δεσμευμένη --- δηλ. όλες οι εκφορές της που βρίσκονται στην εμβέλεια(scope) του τελεστή λ πρέπει να πάρουν την ίδια τιμή. Δεν είναι δυνατόν να γράψουμε την ίδια έκφραση στον κατηγορικό λογισμό με απλό τρόπο. Η (5’) πχ. χρησιμοποιεί και την σχέση της ισότητας. Η έκφραση (6) είναι εντελώς ισοδύναμη με την έκφραση (6’) του κατηγορικού λογισμού ως προς τις συνθήκες αληθείας. Βέβαια η (6) λέει ότι ο Λέων έχει την ιδιότητα να είναι εργένης ενώ η (6’) λέει ότι ο Λέων είναι εργένης.

Για να πάμε από την (6) στην (6’) χρησιμοποιήσαμε την πολύ χρήσιμη τεχνική της λ-μετατροπής (λ-conversion) ή λ-συρρίκνωσης (λ-reduction) όπου εκφορές της μεταβλητής *χ* που είναι στην εμβέλεια του τελεστή λ πήραν την τιμή *λέων*. Σχηματικά μπορούμε να δώσουμε την σχέση ανάμεσα στην λ-αφαίρεση και την λ-μετατροπή ως εξής:

λχ[ψ](τ) ↔ ψ[τ/χ] : όπου ***τ*** όρος και ***ψ[τ/χ]*** η ***ψ*** στην οποία όλες οι εκφορές της ***χ*** έχουν πάρει την τιμή ***τ***.

Δεν υπάρχει ενσωματωμένος συμβολισμός για τον λ-λογισμό στην Prolog. Θα υιοθετήσουμε εδώ την λύση που προτείνει ο Covington, δηλ. θα χρησιμοποιήσουμε τον τελεστή “^” για να γράφουμε εκφράσεις όπως αυτές του Πίνακα 5.2.

Στον πίνακα Πίνακα 5.2 δίνουμε την αναπαράσταση της σημασίας ορισμένων βασικών μονάδων της φυσικής γλώσσας σε **λ-λογισμό**, **κατηγορικό λογισμό** και σε **Prolog**

Πίνακας 5.2
Η μετάφραση βασικών εκφράσεων της φυσικής γλώσσας σε λ-λογισμό, σε κατηγορικό λογισμό και σε Prolog

Είδος συντακτικού συστατικού της φυσικής γλώσσας	Έκφραση σε λ-λογισμό	‘Εκφραση στον κατηγορικό λογισμό	Έκφραση στην Prolog
Κύριο όνομα	Λογική Σταθερά	Λογική σταθερά	
Πέτρος, Ελένη	*petros, eleni*	*petros, eleni*	petros, eleni
Κοινό όνομα	Μονοδύναμο κατηγόρημα	Μονοδύναμο κατ.	
Γάτος	*λx gatos(x)*	*gatos(x)*	X^gatos(X)
μηχανικός	*λx mihanikos(x)*	*mihanikos(x)*	X^mihanikos(X)

Επίθετο	Μονοδύναμο κατηγόρημα	Μονοδύναμο κατ.	
άσπρος	*λx aspros(x)*	*aspros(x)*	X^aspros(X)
διάσημος	*λx diasimos(x)*	*diasimos(x)*	X^diasimos(X)
Επιθετική φράση (Ε+Ο)	Συζευγμένα μονοδύναμα κατηγορήματα	Συζευγμένα κατ. και ισότητα	
διάσημος γάτος	*λx [diasimos(x) ∧ gatos(x)]*	*diasimos(x)∧ gatos(y)∧x=y*	X^(diasimos(X), gatos(X))
άσπρος μηχανικός	*λx [aspros(x) ∧ mihanikos(x)]*	*aspros(x)∧ mihanikos(x)∧x=y*	X^(aspros(X), mihanikos(X))
Ρηματική φράση	Μονοδύναμο κατηγόρημα	Μονοδύναμο κατ.	
Γουργουρίζει	*λx gourgourizei(x)*	*gourgourizei(x)*	X^gourgourizei(X)
χαιρέτησε τον Πέτρο	*λx hairetise(x,petros)*	*hairetise(x,petros)*	X^hairetise(X,petros)
Μεταβατικό ρήμα	Διδύναμο κατηγόρημα	Διδύναμο κατ.	
χαιρέτησε	*λyλx hairetise(x,y)*	*hairetise(x,y)*	Y^X^hairetise(X,Y)
Ρηματική φράση με συνδετικό ρήμα	Μονοδύναμο κατηγόρημα	Μονοδύναμο κατ.	
Είναι διάσημος	*λx diasimos(x)*	*diasimos(x)*	X^diasimos(X)
Προθετική φράση	Μονοδύναμο κατηγόρημα	Μονοδύναμο κατ.	
με τον Πέτρο	*λx me(x,petros)*	*me(x,petros)*	X^me(X,petros)
Πρόθεση	Διδύναμο κατηγόρημα	Διδύναμο κατ.	
Με	*λyλx me(x, y)*	*me(x,y)*	Y^X^me(X,Y)

5.2.1. Ασκήσεις

Α *5.2.1.1*. Εφαρμόστε εξαντλητικά την λ-μετατροπή στις πιο κάτω παραστάσεις.

$\lambda\chi[\exists\omega[\lambda\psi[K(\chi,\psi)](\omega)]\wedge P(\omega,\chi)](πέλωψ)$

$\lambda\psi[\lambda\chi[K(\chi,\psi)](πέλωψ)](μήνις)$

$\lambda\omega[\lambda\chi[[K(\chi,\omega)\wedge \Pi(\chi,\omega)]\vee P(\omega,\chi)](πέλωψ)](μήνις)$

Α *5.2.1.2*. Χρησιμοποιείστε τους πίνακες ΠΙΝ5.1 και ΠΙΝ5.2 και μεταγράψτε σε λ-λογισμό τις πιο κάτω προτάσεις.

Ο Πέτρος είναι μηχανικός.
Υπάρχει ένας άσπρος γάτος.
Αν ο Πέτρος είναι μηχανικός τότε ο γάτος είναι άσπρος.
Ο Πέτρος είναι ένας διάσημος μηχανικός είτε ο γάτος είναι άσπρος.

Α *5.2.1.3*. Σκεφθείτε τώρα την Παθητική Φωνή.

(α) *Ο κύριος γράφει ένα γράμμα.*
(β) *Το γράμμα γράφεται (από κάποιον).*

Η (β) μπορεί να δηλώνει ή όχι τον γραφέα. Πάντως, σε κάθε περίπτωση, η (β) αυστηρώς συνεπάγεται ότι υπάρχει ένας γραφέας.

Η σημασία της (α) αναπαρίσταται με την έκφραση (γ) του λ-λογισμού. Βρείτε το σημασιολογικό αντίστοιχο της έκφρασης (β).

(γ) *λψλχ γράφει(χ,ψ) (κύριος)(ένα γράμμα)*

5.2.2. Ποσοδείκτες και γενικευμένοι ποσοδείκτες

Η μελέτη των ποσοδεικτών της φυσικής γλώσσας είναι αναγκαία όταν θέλουμε να ανακτήσουμε πληροφορία από Βάσεις Δεδομένων. Εδώ θα εισάγουμε μερικές βασικές ιδέες σχετικά με τον ρόλο των ποσοδεικτών στην τυπική σημασία της φυσικής γλώσσας ώστε να γίνουν καλλίτερα κατανοητές οι εφαρμογές που θα αναπτύξουμε στις παραγράφους 5.3, 5.4 και 5.5. Πρόκειται, λοιπόν, να απευθύνουμε ερωτήσεις προς την Βάση Δεδομένων σαν και τις ακόλουθες: "*'είναι οι περισσότεροι γάτοι διάσημοι?"* και "*υπάρχει κάποιος γάτος που γουργουρίζει?"*. Τέτοιου τύπου ερωτήσεις μας ωθούν να κατανοήσουμε την παρουσία των ποσοδεικτών μέσα στην φραστική δομή και στην σημασιολογία της γλώσσας ώστε να πετύχουμε την καλλίτερη δυνατή αναπαράσταση της σημασίας στην Prolog. Εδώ δεν πρόκειται προφανώς να αναφέρουμε, πολλώ μάλλον να εξαντλήσουμε, το σύνολο των ερωτημάτων που σχετίζονται με την χρήση των ποσοδεικτών στην φυσική γλώσσα (πρόκειται, φυσικά, για έναν τεράστιο τομέα έρευνας). Θα δώσουμε μόνον τις βασικές ιδέες που βρίσκονται πίσω από τις εφαρμογές που θα κάνουμε.

Ξεκινάμε, αντίστροφια κατά κάποιον τρόπο, από τους ποσοδείκτες που είναι διαθέσιμοι στον κατηγορικό λογισμό και οι οποίοι είναι δύο: ο υπαρξιακός (1) και ο καθολικός (2).

(1α) *Κάποιος γάτος γουργουρίζει.*

(1) $\exists \chi$ *[γάτος(χ)* $\wedge$ *γουργουρίζει(χ)]*

(2α) *Όλοι οι γάτοι γουργουρίζουν.*

(2) $\forall \chi$ *[γάτος(χ)* $\rightarrow$ *γουργουρίζει(χ)].*

Σε λ-λογισμό γράφουμε τις (3α) και (3β) οι οποίες είναι ισοδύναμες των (1) και (2).

(3α) $\exists \chi$ *λΠ λP [Π(χ)* $\wedge$ *P(χ)](γουργουρίζει)(γάτος)*

(3β) $\forall \chi$ *λΠ λP [Π(χ)* $\rightarrow$ *P(χ)](γουργουρίζει)(γάτος)*

Οι συνθήκες αληθείας της (1) είναι να υπάρχει ένας τουλάχιστον γάτος που γουργουρίζει. ΟΙ συνθήκες αληθείας της (2) είναι είτε όλες οι οντότητες να μήν είναι γάτοι είτε όλες οι οντότητες να γουργουρίζουν. Ίσως αυτή η ερμηνεία του καθολικού ποσοδείκτη να μην είναι διαφανής στον αναγνώστη καθώς η παρουσία της λογικής συνεπαγωγής επιτρέπει στην παράσταση (2) να πάρει την τιμή Αλήθεια και όταν ακόμη το αριστερό μέρος της συνεπαγωγής έχει την τιμή Ψέμα (ο αναγνώστης πρέπει να θυμηθεί ότι $p \rightarrow q \leftrightarrow \neg p \vee q$). Η λογική συνεπαγωγή χρησιμοποιήθηκε αντί της, πιθανόν πιο σύμφωνης με την διαίσθησή μας αλλά τελικά μή ικανοποιητικής, σύζευξης (2') για τον λόγο ότι η (2') παίρνει την τιμή Ψέμα για οποιαδήποτε οντότητα του μοντέλου η οποία δεν είναι γάτος.

(2') $\forall \chi$ *[γάτος(χ)* $\wedge$ *γουργουρίζει(χ)].*

Οι (1) και (2) μας θέτουν δυσεπίλυτα προβλήματα. Αυτά τα αντιμετωπίζουμε με την χρήση του λ-λογισμού και τελικά οδηγούμαστε σε μια νέα θεώρηση των ποσοδεικτών. Στην συνέχεια αυτής της παραγράφου θα ασχοληθούμε με αυτά τα θέματα.

Το πρώτο πρόβλημα είναι ότι η δομή των (1) και (2) είναι αναντίστοιχη της φραστικής δομής (1α) και (2α) αντιστοίχως. Ενώ στις (1) και (2) οι ποσοδείκτες έχουν εμβέλεια πάνω σε ολόκληρη την πρόταση, τα φραστικά τους αντίστοιχα “*κάποιος”* και *“όλοι”* εντοπίζονται σαν συστατικά της ΟΦ που λειτουργεί ως υποκείμενο στην φραστική δομή (θα μπορούσε φυσικά να έχει οποιαδήποτε άλλη συντακτική λειτουργία). Αυτή η αναντιστοιχία θέτει υπό αμφισβήτηση την αρχή της συνθετικότητας γιατί ενώ στο φραστικό επίπεδο έχουμε ένα συστατικό που λέγεται ονοματική φράση, στο σημασιολογικό επίπεδο τέτοιο συστατικό δεν υπάρχει. Απόρροια αυτού του γεγονότος είναι ότι από την δομή των (1) και (2) δεν είναι καθαρό σε τί αντικείμενο αντιστοιχεί η σημασία των ΟΦ. Είναι σύνολα? Είναι τιμές αληθείας?

Το δεύτερο πρόβλημα είναι ότι ο υπαρξιακός και ο καθολικός ποσοδείκτης αν και είναι οι μόνοι ποσοδείκτες του κατηγορικού λογισμού αποτελούν την κορυφή του παγόβουνου εν σχέσει με τους ποσοδείκτες της φυσικής γλώσσας. Για του λόγου το αληθές κοιτάξτε τις ακόλουθες προτάσεις όπου οι ποσοδείκτες είναι υπογραμμισμένοι.

(5) *Δύο μόνο γάτοι είναι άσπροι.*
(6) *Οι περισσότεροι γάτοι ζουν στα κεραμίδια.*
(7) *Αρκετοί γάτοι είναι διάσημοι.*
(8) *Λίγοι γάτοι μένουν αζευγάρωτοι τον Δεκέμβρη.*

Για να δώσουμε μια τυπική σημασιολογική ερμηνεία αυτών των ποσοδεικτών πρέπει να είμαστε σε θέση να μετρήσουμε και να συγκρίνουμε ποσότητες πράγμα το οποίο δεν μας ήταν αναγκαίο στην περίπτωση του υπαρξιακού και του καθολικού ποσοδείκτη. Στα πλαίσια της θεωρίας των **γενικευμένων ποσοδεικτών** (generalised quantifiers) στοιχεία της οποίας θα εισάγουμε αμέσως πιο κάτω, έχουμε τον τρόπο για να ορίσουμε και ποσοδείκτες άλλους από τον υπαρξιακό και τον καθολικό.

Στην συνέχεια δίνουμε μερικές από τις βασικές ιδέες της θεωρίας των γενικευμένων ποσοδεικτών.
Παρατηρείστε ξανά μερικές φράσεις του τύπου της (2α).

(4) Όλοι οι γάτοι νιαουρίζουν.
(5) Όλοι οι γάτοι τρώνε τα ψάρια.
(6) Όλοι οι γάτοι είναι καυγατζήδες.

Ας δούμε τις προτάσεις από αριστερά προς τα δεξιά. Υπάρχουν οι ιδιότητες του *“νιαουρίζειν”*, *“τρώγειν τα ψάρια”*, *“είσθαι καυγατζής”*. Οι προτάσεις (4)-(6) είναι αληθείς μόνον όταν όλοι οι γάτοι ανήκουν στα σύνολα-σημασίες αυτών των ιδιοτήτων. Το επόμενο βήμα είναι το σημαντικό: η ΟΦ *“όλοι οι γάτοι”* φαίνεται να σημαίνει το σύνολο των ιδιοτήτων που έχουν όλοι οι γάτοι. Αυτό είναι και η βασική ιδέα της θεωρίας των γενικευμένων ποσοδεικτών: οι γενικευμένοι ποσοδείκτες είναι τα σημασιολογικά αντίστοιχα των Ονοματικών Φράσεων και είναι οικογένειες υποσυνόλων του συνόλου των οντοτήτων του μοντέλου.

Σε αυτό το σημείο θα εισάγουμε καινούργιο φορμαλισμό κατάλληλο να περιγράψει την βασική ιδέα των γενικευμένων ποσοδεικτών και αντίστοιχο προς αυτόν που θα χρησιμοποιήσουμε στις εφαρμογές μας. Οι αναπαραστάσεις της σημασίας των φυσικών προτάσεων (1α),(2α) και (6) που δίνονται στα (7),(8),(10) αντιστοίχως ξεκάθαρα δείχνουν την συνεισφορά της Ονοματικής Φράσης και της Ρηματικής Φράσης και άρα δεν θέτουν ερωτήματα όσον αφορά την αρχή της συνθετικότητας.

Εις το εξής θα χρησιμοποιούμε τις αναπαραστάσεις (7) και (8) αντί των (1) και (2) αντίστοιχα.

(7) *(∃χ: γάτος(χ)) (γουργουρίζει(χ))*
(8) *(∀χ: γάτος(χ)) (γουργουρίζει(χ))*

Επίσης, ορίζουμε και άλλους ποσοδείκτες, πχ.

(9) *Δυο μόνο γάτοι είναι διάσημοι.*
(10) *(δύο μόνο χ: γάτος(χ)) (διάσημος(χ))*

Σε αυτές τις παραστάσεις η δεύτερη παρένθεση θα αποκαλείται ο περιοριστής (restrictor) και η τρίτη παρένθεση η εμβέλεια (scope). Ο περιοριστής αποτελείται από δύο μέρη. Από τον **καθοριστή** (determiner) και από κάποια ορθώς σχηματισμένη formula. Για παράδειγμα, στο (7) ο καθοριστής είναι ο υπαρξιακός ποσοδείκτης και στο 10 το *"δύο μόνο χ"*. Εν γένει, η μορφή αυτών των προτάσεων είναι γενικά η (11).

(11) **(Περιοριστής) (Εμβέλεια).**

Ας δούμε τώρα πώς υπολογίζονται οι τιμές αληθείας των παραστάσεων (7) και (8)[1]. Η (7) είναι αληθής μόνον όταν η σημασία του *"όλοι οι γάτοι"* είναι ένα σύνολο συνόλων ένα εκ των οποίων είναι και η σημασία του *"γουργουρίζει"* και το οποίο έχει ως μέλη όλους τους γάτους. Στο (12) δίνουμε μια εικόνα τέτοιων καταλλήλων σημασιών σε ένα μοντέλο με δύο μόνο γάτους.

(12) [[*όλοι οι γάτοι*]] = { {<**γάτος1,γάτος2**>,<**σκύλος1,σκύλος2**>},
{<**γάτος1,γάτος2,περιστέρι3,περιστέρι10**},
{<**γάτος1,ποντίκι1**>},...
}
[[*γουργουρίζει*]] = {**γάτος1,γάτος2,περιστέρι3,περιστέρι10**}

Είναι βέβαια καθαρό πώς οι γενικευμένοι ποσοδείκτες αναπαριστάνουν την σημασία Ονοματικών Φράσεων και όχι των καθοριστών τους. Οι καθοριστές απλά ορίζουν μία σχέση ανάμεσα σε σύνολα --- πιο πάνω ορίσαμε την σχέση που επιβάλει ο καθοριστής "*όλοι*" σαν σχέση μέλους προς σύνολο.

Όπως υποσχεθήκαμε θα χρησιμοποιήσουμε την (11) σαν πηγή έμπνευσης για να αναπαραστήσουμε την σημασία προτάσεων με ποσοδείκτες στην Prolog. Γράφουμε, λοιπόν, παραστάσεις σαν την (13):

(13) determiner(X,Res(triction),Scope).

[1]Αν τους δούμε από λειτουργική άποψη, οι γενικευμένοι ποσοδείκτες είναι συναρτήσεις που παίρνουν σύνολα ως ορίσματα και τιμές αληθείας ως τιμές.

Εφαρμόζοντας λ-αφαίρεση στην (13) και μεταγράφοντας σε Prolog παίρνουμε την (14):

(14) X^Res^Scope(determiner(X,Res,Scope))

Στο εξής θα κάνουμε εξαντλητική χρήση των σχέσεων (13) και (14).

5.2.6. Ε Ασκήσεις

Α *5.2.2.1.* *Η πρόταση (α) έχει δύο αντίστοιχα στον κατηγορικό λογισμό. Το φαινόμενο λέγεται αμφισημία εμβελείας (scope ambiguity).*

(α) Κάθε σκύλος κυνηγάει μία γάτα

Αντίστοιχο πρώτο: Κάθε σκύλος κυνηγάει κάποια γάτα (μπορεί κάθε σκύλος να κυνηγάει διαφορετική γάτα). *Λέμε ότι ο υπαρξιακός ποσοδείκτης έχει στενή εμβέλεια (narrow scope).*

$\forall x\ [skilos(x) \rightarrow \exists y[gata(y) \wedge kinigaei(x,y)]$

Αντίστοιχο δεύτερο: Υπάρχει μία γάτα που την κηνυγούν όλοι οι σκύλοι. *Λέμε ότι ο ποσοδείκτης έχει ευρεία εμβέλεια (wide scope) ή έχει στην εμβέλειά του τον καθολικό ποσοδείκτη.*

$\exists x\ [gata(x) \wedge \forall y\ [dog(y) \rightarrow kinigaei(y,x)]$

Δώστε τις πιθανές ερμηνείες και τις αναπαραστάσεις της κάθε μίας από τις σημασίες των πιο κάτω προτάσεων. Εξηγείστε πότε οι διαφορετικοί συνδυασμοί των εμβελειών οδηγούν σε πραγματικά διαφορετικές σημασίες.

Κάθε παιδί αγαπά όλα τα γλυκά.
Μερικά παιδιά αγαπούν μερικά γλυκά.
‘Ολοι οι άντρες αγαπούν μία γυναίκα.

Α *5.2.2.2* *Η ερμηνεία του “όλοι” στον κατηγορικό λογισμό (παράδειγμα (2) της Παραγράφου 5.2.2.) δεν είναι ικανοποιητική. Όταν στην φυσική γλώσσα λέμε “όλοι οι γάτοι γουργουρίζουν” εννοούμε ότι υπάρχουν γάτοι και αυτοί που υπάρχουν γουργουρίζουν. Αντιθέτως η (2) μπορεί να είναι αληθής έστω και αν δεν υπάρχουν γάτοι. Στην φυσική γλώσσα, λοιπόν, και όχι στον κατηγορικό λογισμό, ο καθολικός ποσοδείκτης προυποθέτει μία φράση με υπαρξιακό ποσοδείκτη. Δώστε την formula του κατηγορικού λογισμού που εκφράζει την σημασία του καθολικού ποσοδείκτη στην γλώσσα.*

Α *5.2.2.3.* *Δώστε τα ανάλογα των σχέσεων (13) και (14) για τις προτάσεις (7),(8) και (10).*

5. 3. Πρώτες εφαρμογές σε Prolog.

Πριν προχωρήσουμε στην αναπαράσταση της σημασίας της φυσικής γλώσσας σε Prolog, πρέπει να ορίσουμε τους βασικούς ποσοδείκτες, τον υπαρξιακό και τον καθολικό. Κατ' αρχήν ορίζουμε τον καθολικό ποσοδείκτη ο οποίος σύμφωνα με όσα είπαμε μέχρι τώρα θα έχει την μορφή (15). Ο ορισμός δίνεται στην (16).

(15) all(X,Res,Scope).

(16) all(X,Res,Scope):-
        not(Res, not (Scope)),
        Res, ! .

Ο κανόνας (16) έχει ως κεφαλή την αναπαράσταση που ακολουθεί την θεωρία των γενικευμένων ποσοδεικτών. Το σώμα του κανόνα ουσιαστικά υλοποιεί την ερμηνεία του καθολικού ποσοδείκτη στον κατηγορικό λογισμό (2), περιέχει δηλαδή την λογική συνεπαγωγή, είναι όμως αυξημένο κατά την υπαρξιακή προυπόθεση που συζητήθηκε στην άσκηση Α *5.2.2.2*.

Τώρα θα ορίσουμε τον υπαρξιακό ποσοδείκτη. Αυτός θα έχει την μορφή (17) και τον κανόνα (18). Και πάλι η κεφαλή του κανόνα (18) αντικατοπτρίζει την θεωρία των γενικευμένων ποσοδεικτών ενώ το σώμα την ερμηνεία του υπαρξιακού ποσοδείκτη στον κατηγορικό λογισμό όπως αυτή δόθηκε στην σχέση (1).

(17) some(X,Res,Scope).
(18) some(X,Res,Scope):-
        Res,Scope,!.

Οι στόχοι μας όμως είναι πιο φιλόδοξοι. Θέλουμε να ορίζουμε ποσοδείκτες όπως *"όλοι οι γάτοι"* και "*οι περισσότερες γάτες"*. Θα χρησιμοποιήσουμε το κατηγόρημα findall/3 το οποίο είναι διαθέσιμο σε όλες τις εκδόσεις της Prolog. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί το κατηγόρημα setof/3, εφόσον είναι διαθέσιμο στην έκδοση της Prolog που χρησιμοποιείτε, το οποίο ενσωματώνει την διαδικασία διαλογής ομοίων στοιχείων έτσι ώστε να επιστρέφει ως λύσεις σύνολα. Θα ορίσουμε τώρα τον ποσοδείκτη που περιέχει τον καθοριστή "*δύο"*.

(19) two(X,Res,Scope):-
        solutions(X,(Res,Scope),L),
        length_of_list(L,2).

'Ολη η δουλειά γίνεται από το κατηγόρημα solutions/3 το οποίο βρίσκει όλα τα X που ικανοποιούν και την Res και την Scope, διαγράφει τις πολλαπλές εμφανίσεις της ίδιας τιμής και επιστρέφει το σύνολο των λύσεων ως λίστα L.

```
solutions(X,(Res,Scope),L):-
        findall(X,(Res,Scope),L1,
        remove_duplicates(L1,L).
```

Το ξεσκαρτάρισμα των πολλαπλών ιδίων λύσεων γίνεται από το κατηγόρημα remove_duplicates/2.

```
remove_duplicates([],[]).
remove_duplicates([H|Tail],Rest):-            % αν έχεις ξανασυναντήσει αυτό το στοιχείο
        is_member(H,Rest),!,                  %αγνόησέ το.
        remove_duplicates(Tail,Rest).
remove_duplicates([H|Tail],Rest):-            %σίγουρα δεν τόχεις ξανασυναντήσει αυτό το
        remove_duplicates(Tail,[H|Rest]).     %στοιχείο: κατάγραψέ το.

is_member(H,[H|T]).                           %δες αν το στοιχείο ανήκει στην λίστα
is_member(H,[Y|T]):-
        is_member(H,T).
```

Το μήκος της λίστας υπολογίζεται από το κατηγόρημα length_of_list/2.

```
length_of_list([],0).
length_of_list([H|T],Number):-
        length(T,Number1),
        Number is Number1+1.
```

<u>5.3. Ε. Ασκήσεις</u>

Α ***5.3.1***. *Είναι δυνατόν να παραλείψουμε την μεταβλητή Χ από τους ορισμούς του καθολικού και του υπαρξιακού ποσοδείκτη στην Prolog (16), (18)? Γιατί? Είναι δυνατόν να παραλείψουμε την ίδια μεταβλητή από τον ορισμό του ποσοδείκτη με καθοριστή "δύο" (19)? Γιατί?*

Α 5.3.2. *Εξηγείστε τον ρόλο του cut στον ορισμό του κατηγορήματος remove_duplicates/2.*

Α 5.3.3. *Ορίστε ένα κατηγόρημα most(X,Res,Scope) της Prolog τέτοιο που να αντιστοιχεί στον ποσοδείκτη με καθοριστή "περισσότερος". Για παράδειγμα, άν έχετε μία βάση δεδομένων που περιγράφει δραστηριότητες γάτων, η φράση "οι περισσότεροι γάτοι γουργουρίζουν" θα είναι αληθής εφόσον παραπάνω από τους μισούς γάτους έχουν δηλωθεί ότι γουργουρίζουν.*

5.4. Αναπαριστώντας την σημασία της φυσικής γλώσσας σε Prolog

Επιτέλους, η προετοιμασία έληξε. Τώρα είμαστε έτοιμοι να αναπαραστήσουμε την σημασία της φυσικής γλώσσας σε Prolog και να χρησιμοποιήσουμε την μετάφραση για να ανακτήσουμε πληροφορίες από μία κατάλληλη βάση δεδομένων.

Η τακτική που θα ακολουθήσουμε είναι οικεία. Θα εμπλουτίσουμε τις Γραμματικές Ορισμένης Φράσης (ΓΟΦ) με αναπαραστάσεις της σημασίας των συντακτικών συστατικών:

```
s(Sem) --> np((X^Scope)^Sem),vp(X^Scope).          %η ονοματικη φράση ερμηνεύεται ως
                                                   %γενικευμένος ποσοδείκτης ο οποίος
                                                   % παίρνει ως τιμή της εμβέλειάς του τη
                                                   %σημασια της ρηματικής φράσης.

np((X^Scope)^Pred) --> det((X^Res)^(X^Scope)^Pred),n(X^Res).

vp(Sem) -->  v(Sem).                               %αμετάβατο (μονοδύναμο) ρήμα
vp(X^Pred) --> v(Y^X^Scope),np((Y^Scope)^Pred).    %μεταβατικό (διδύναμο) ρήμα

det((X^Res)^(X^Scope)^all(X,Res,Scope)) --> [κάθε];[όλοι].
det((X^Res)^(X^Scope)^some(X,Res,Scope)) --> [ένας];[κάποιος].

n(X^gatos(X)) --> [γάτος].
n(X^skilos(X)) --> [σκύλος].

v(X^goyrgoyrizei(X)) --> [γουργουρίζει].
v(X^xasmoyrietai(X)) --> [χασμουριέται].
v(Y^X^hairetise(X,Y)) --> [χαιρέτησε].
v(Y^X^eide(X,Y)) --> [είδε].
```

Για παράδειγμα δίνουμε την πρόταση "*όλοι οι γάτοι χαιρετούν κάποιο σκύλο*". Πρώτα δίνουμε την ΟΦ-αντικείμενο, μετά την ρηματική φράση, ύστερα την ΟΦ-υποκείμενο και τέλος την πρόταση.

```
(20)                          NP
                 (Y^Scope)^some(Y,skilos(Y),Scope)

            Det                                  N
(Y^Res)^(Y^Scope)^some(Y,Res,Scope)         Y^skilos(Y)
           κάποιο                               σκύλο

(21)                     VP
            X^some(Y,skilos(Y),hairetoyn(X,Y)).

      V                                     NP
Y^X^hairetise(X,Y)          (Y^Scope)^some(Y,skilos(Y),Scope).
   χαιρετούν                          κάποιο σκύλο


(22)                     NP
            (X^Scope)^all(X,gatos(X),Scope)

            Det                                    N
(X^Res)^(X^Scope)^all(X,Res,Scope)           X^gatos(X)
          όλοι                                    γάτοι
```

(23) S

all(X,gatos(X),some(Y,dog(Y),hairetise(X,Y)))

NP VP

(X^Scope)^all(X,gatos(X),Scope) X^some(Y,skilos(Y),hairetise(X,Y))

όλοι οι γάτοι χαιρετούν κάποιο σκύλο

<u>5.4. Ε. Ασκήσεις</u>

Α *5.4.1. Δείξτε στο συμβολισμό Prolog που έχουμε υιοθετήσει πώς συντίθεται η σημασία των πιο κάτω προτάσεων.*

Κάθε γάτος κυνηγά όλους τους σκύλους.

Ο Ψιψίνος κυνηγά έναν γάτο.

Πρέπει να υποθέσετε πως η σημασία του "Ψιψίνου" (και κάθε κύριου ονόματος) είναι

np((psipsinos^Sco)^Sco) --> [ψιψίνος].

5.5. Ερωτήσεις προς την Βάση Δεδομένων

<u>5.5.1 Απλές ερωτήσεις επιδεχόμενες τα ναι/όχι ως απάντηση.</u>

Υποθέστε ότι έχουμε μία βάση δεδομένων σαν την ακόλουθη.

```
γουργουρίζει(ψιψίνος).
γουργουρίζει(ασπρούλης).
γουργουρίζει(συλβέστρος).
γουργουρίζει(τουίτυ).

κυνηγάει(συλβέστρος,τουίτυ).
κυνηγάει(ψιψίνος,ορφέας).

γάτος(ψιψίνος).
γάτος(ασπρούλης).
γάτος(συλβέστρος).

καναρίνι(τουίτυ).
καναρίνι(ορφέας).
```

Θέλουμε να θέσουμε ερωτήσεις όπως "*κυνηγάει ο ψιψίνος τον ορφέα?*", "*κυνηγάει ο τουίτυ τον ασπρούλη?*", "*γουργουρίζει ο ψιψίνος?*". Χρειάζεται να εισάγουμε τον κατάλληλο κανόνα ΓΟΦ (24).

```
s(Sem) --> vp(X^Scope),np((X^Scope)^Sem).
```

Για να χρησιμοποιήσουμε την γραμματική της παραγράφου 5.4 πρέπει, εκτός του να διαμορφώσουμε το λεξιλόγιο κατάλληλα, να κάνουμε κάτι για το οριστικό άρθρο της Ελληνικής. Ας καταχωρήσουμε στο λεξικό τα οριστικά άρθρα ως λήμματα με κατηγορία def η οποία δεν συμβάλλει στην σημασία της ονοματικής φράσης. Αυτό βέβαια δεν είναι αλήθεια, αλλά ικανοποιεί τους σκοπούς μας εδώ. Πρώτα δίνουμε την μορφή του λήμματος για το οριστικό άρθρο και μετά τον κανόνα για την ονοματική φράση που περιέχει καθοριστή και οριστικό άρθρο.

```
def --> [οι];[ο];[η];[το].

np((X^Scope)^Pred) --> d((X^Res)^(Y^Scope)^Pred),def,n(X^Res).
```

<u>5.5.1. Ερωτήσεις</u>

Α *5.5.1.1* *Χρησιμοποιείστε και επεκτείνετε τον ορισμό του καθολικού και του υπαρξιακού ποσοδείκτη στην Prolog, την βάση δεδομένων που δίνεται πιο πάνω καθώς και την γραμματική των παραγράφων 5.4. και 5.5.1 για να απαντήσετε σε ερωτήσεις όπως:*

Γουργουρίζει κάποιος γάτος?
Κυνηγούν όλοι οι γάτοι ένα καναρίνι?

<u>5.5.2. Ερωτήσεις με ερωτηματικές αντωνυμίες.</u>

Ας θέσουμε τώρα ερωτήσεις του τύπου *"Ποιός γάτος κυνηγάει τον Τουίτυ?"* , *"Πόσοι γάτοι γουργουρίζουν?"*. Θα μεταφράσουμε τις ερωτηματικές αντωνυμίες σε κανόνες Prolog με τον ίδιο τρόπο που μεταφράσαμε τους γενικευμένους ποσοδείκτες.

```
ποιός(X,Res,Scope):-
        solutions(X,(Res,Scope),L),
        write(L).

πόσοι(X,Res,Scope):-
        solutions(X,(Res,Scope),L),
        length_of_list(L,Le),
        write(Le).
```

<u>5.5.2. Ε Ερωτήσεις</u>

Α *5.5.2.1* *Φτειάξτε έναν τεχνολογητή που να απαντά σε ερωτήσεις σαν αυτές της παραγράφου 5.5.2.*

Α *5.5.2.2*. *Φτειάξτε έναν τεχνολογητή που να απαντά και στις ερωτήσεις τηςπαραγράφου 5.5.2 και σε ερωτήσεις σαν τις επόμενες:*

Πόσα καναρίνια κυνηγά ο Ψιψίνος?
Ποιά καναρίνια κυνηγά ο Συλβέστρος?

Βιβλιογραφία

Ο Covington (1994) έχει αποτελέσει το πρότυπό μας εδώ.

Για μια σε βάθος εισαγωγή στην τυπική σημασιολογία της φυσικής γλώσσας χρησιμοποιείστε τους Chierchia and Mc Connell-Ginet. Μια αρκετά φορμαλιστική εισαγωγή στους γενικευμένους ποσοδείκτες δίνεται στους Partee, ter Meylen and Wall αλλά υπάρχει και η ανακοίνωση των Barwise and Cooper όπου για πρώτη φορά εισήχθη αυτή η θεωρία.

J. Barwise and R. Cooper. 1981. Generalised quantifiers in Natural Language. *Linguistics and Philosophy, 4Q159-219.*

Gennaro Chierchia and Sally Mc Connell-Ginet. 1990. *An Introduction to Semantics.* Cambridge, Mass: The MIT Press.

Michael A. Covington. 1994. *Natural Language Processing for Prolog Programmers.* New Jersey: Prentice Hall.

Gerald Gazdar and Chris Mellish. 1989. *Natural Language Processing in Prolog: an introduction to computational linguistics.* Wokingham, England: Addison-Wesley.

Barbara Partee, Alice ter Meulen and Robert E. Wall. 1990. *Mathematical Methods in Linguistics.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers